

# 我国杉木林生物量与能量利用率的研究\*

肖文发 聂道平 张家诚

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 100091, 北京; 第一作者 34 岁, 男, 副研究员)

**摘要** 根据作者的研究和文献资料系统分析了我国杉木的能量利用、分配及生物生产力的特征和规律, 结果表明: 杉木不同器官的热值差异明显, 平均为  $19.951 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。生物量与密度和年龄呈较好的线性相关。不同地带、生长阶段、海拔高度的杉木光能利用率、能量的分配格局和林分生物量生产率不同; 杉木的光合能量利用随不同林龄、密度和立地质量的不同而呈现光补偿点、光饱和点、 $\text{CO}_2$  补偿点等的不同。总体上, 我国杉木林对太阳总辐射和光合有效辐射的现实平均利用率分别为 0.38% 和 0.81%, 且由大到小依次为中带、南带、北带的规律; 叶净光合生产率、生物量生产率、材积生产率也依次为中带、南带、北带, 并与林分叶面积指数正相关。我国杉木人工林的培育仍具有很大潜力。

**关键词** 杉木; 热值; 生物量; 光合作用; 能量利用

**分类号** S718.556

生态系统净初级生产力的形成过程是能量固定、积累和转化的过程。从能量流动角度诠释生产力, 可以充分揭示能流与生物量生产的关系, 更充分地阐明人工林生态系统的功能特征及太阳能利用状况。多年来, 对杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 的地理分布、种源、生物学特性、生产力等进行了较深入的研究<sup>[1-18], 1)</sup>, 但很少系统地分析杉木林的能量利用特征。本文试图综合分析杉木人工林的能量利用、分配及生物生产力的特征和规律, 为更深入地研究其间形成的关系, 探索提高杉木林分生产力的最佳途径提供参考。

## 1 杉木林的生物量

杉木是我国亚热带重要的人工用材树种, 其栽培区域约在  $102 \sim 122^\circ \text{E}$ ,  $22 \sim 34^\circ \text{N}$  之间, 遍及我国整个亚热带。简单地划分为南带、中带、北带<sup>[1-3]</sup>。

不同带区, 杉木林生物量生产各有差异, 并有不同的生物量数据和生物量计算公式<sup>[3, 4, 6, 8-18], 1)</sup>。其共同的特征是: (1) 林分生物量随立地指数和林龄的增加而增加; 相同年龄杉木 18 指数大于 16 指数大于 14 指数, 山谷大于山麓大于山坡(脊)的生物产量。(2) 在一定密度范围内林分生物量随林分密度的增加而增加; 群落总生物量随立地指数和林龄的增大而增加。乔木层生物量占系统总生物量的 95%, 而且在 10 年生时最大, 此后随林龄增加而下降, 并随立地指数提高而增加。下木和地被层则相反, 体现了乔木层在人工林生态系统中所起的决定性作用。

\* 本研究为中国林业科学研究院 1995 ~ 1996 年院基金项目“不同带区不同密度杉木人工林光能利用率研究”的部分内容。

1998-05-08 收稿。

1) 冯宗炜, 陈楚莹, 李昌华, 等. 杉木人工林生长发育与环境相互关系的定位研究. 杉木人工林生态学研究论文集. 沈阳: 中国科学院林业土壤研究所, 1980. 1 ~ 29.

$\text{hm}^{-2}$ , B:  $5\,000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ , A:  $1\,667 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 的 5~8 年生杉木幼林在相似立地下, 光能利用率由大到小依次为密度 E、密度 B、密度 A (表 2)。林分生物量的变化规律亦如此, 说明杉木幼林对太阳总辐射能量的固定效率的趋势是密度最大的林分最高, 然而, 这种明显的特征将随着林分的郁闭而不断变化。13 年生林分较之 8 年生林分的能量利用率小 (图 1), 从而看出, 8 年生林分郁闭良好, 叶面积指数较大, 处于幼年速生期, 13 年生中幼林速生期林分, 叶面积指数 (表 3) 较之 8 年生叶下降并已趋稳定, 对太阳总辐射的利用率下降。杉木人工林的经营和栽培明显存在一个最适密度范围。

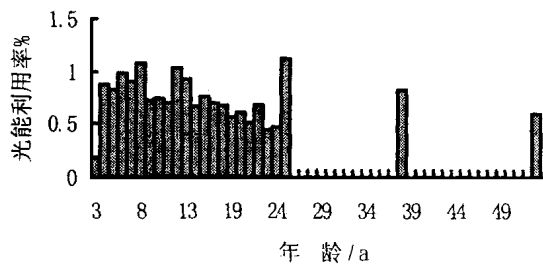


图 1 不同年龄杉木林的光合有效辐射能 (PAR) 利用率

相同年龄阶段的林分, 即使其林分密度较大, 但如果立地条件差 (或立地指数低), 则能量固定效率仍较低, 由大到小一般依次为 18 指数、16 指数、14 指数。

根据全国不同带区 85 块不同年龄、密度、海拔和立地指数的 3~53 年生不同龄段的杉木林的研究结果<sup>[1~23]</sup> 统计分析表明 (图 1), 相似立地条件下, 随着生长进程的推进, 林分密度不断下降, 生长状况也在速生期后不断减弱。但林分生物量现存量不断积累, 年平均太阳总辐射利用效率具有多峰值特征。一般而言, 4~8 年生第一次高峰为幼林速生期, 平均光能利用率高, 速生期的 9~11 年生较低, 而 12~13 年生时再次较高; 此后的干材期不断下降, 直至成熟期 25 a。25、38 和 53 年生 (过熟) 的情况为杉木中心产区会同的具体样地, 不能代表区域性平均水平。但这种规律, 与实践杉木实际生长规律和对杉木人工林的经营利用规律是一致的。福建顺昌的研究结果表明, 10 年生杉木林的能量利用率最高, 依次为 10、5、15、19 年生。

表 3 不同密度 8、13 年生杉木人工林叶面积指数<sup>[5,7]</sup>

密 度	A ( $1\,667 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		B ( $3\,333 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		E ( $9\,933 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		
	年 龄/a	8	13	8	13	8	13
叶面积指数		10.839	9.388	18.280	9.50	9.876	9.772

(3) 从垂直分布看, 若把海拔 50 m 的差距 (温度相差 0.6 ) 以内定义为同一海拔, 中带西区杉木研究表明: 相同海拔的同一坡面, 同龄杉木林密度越大, 生物量越高, 对太阳能的利用率也越高。总体上看, 相同年龄, 如 17 年生杉木, 在一定范围以内 (如 300~1 500 m), 海拔越高,

表 2 不同密度杉木幼林生物量与光能利用率

密度/ 株 · $\text{hm}^{-2}$	年 龄/a	生物量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	光合有效辐射 利用率%
1 667	5	23.621	0.437 9
	6	39.975	0.617 56
	7	54.311	0.719 17
	8	65.813	0.762 54
3 333	5	35.33	0.654 96
	6	62.427	0.964 42
	7	75.326	0.997 45
	8	89.524	1.037 27
5 000	5	41.75	0.773 98
	6	64.05	0.989 49
	7	79.95	1.058 68
	8	97.8	1.133 16
6 650	5	38.37	0.711 32
	6	60.914	0.941 04
	7	74.48	0.986 24
	8	89.642	1.038 64
9 933	5	57.313	1.062 49
	6	90.986	1.405 62
	7	105.29	1.394 22
	8	123.964	1.436 31

不同密度和年龄的林分,生物量的差异较大,所有收集的数据回归拟合的结果表明,杉木林生物量  $M(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$  与林分密度  $N(\text{株} \cdot \text{hm}^{-2})$  和年龄  $A$  呈线性相关:  $M = 1.080 4 + 6.153 9A + 0.003 755N$  ( $R^2 = 0.640 9$ )。可用于杉木生物量的估算。

## 2 杉木林的能量利用率

由于国内尚缺乏从生态系统能量利用的角度在杉木林中进行各组分和层次的森林植物的能量固定研究,因而本文仅从杉木人工林生态系统乔木层来说明杉木群体的能量利用特征。通过对全国杉木分布区能量投入的查算与生物量数据的分析,可概括出我国杉木人工林能量利用的地理分布格局。

杉木不同分布区年均太阳能输入北带为  $4 596 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 中带为  $4 000 \sim 4 600 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 南带为  $4 891 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。若杉木热值为  $Q$ , 杉木生物量为  $M$ , 杉木林样地上太阳总辐射投入为  $S$ , 则杉木群体太阳能利用率  $R = 100\% \times Q \times M \cdot S^{-1}$ , 光合有效辐射利用率  $R_{\text{par}} = R \times 0.47^{-1}$ , 即取  $PAR = 0.47 \times S$ 。

### 2.1 杉木热值

杉木的热值分析是杉木能量生产研究的基础。根据对杉木中带中区的江西大岗山 8 块标准地测定结果,生产力水平较高的 19 年生杉木不同器官热值存在明显的差异,同时,坡面的不同位置的杉木,热值也存在差异。各器官平均热值大小顺序为叶、枝、干,同时,不同坡面位置林木平均热值大小无明显规律(表 1)。

表 1 19 年生杉木各器官热值

标地位置	标准地号	样木生长		各器官热值/ $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$							样木平均(带皮)
		$D/\text{cm}$	$H/\text{m}$	干	皮	当年叶	当年枝	多年叶	多年枝	不带叶枝	
山脊	1	6.9	7.3	19.12	19.08	19.89	19.10	21.13	20.76	20.72	19.56
	2	11.2	10.45	19.45	19.37	20.72	19.32	16.76	18.53	19.95	19.21
山坡	8	10.5	9.8	19.45	20.78	20.11	19.87	21.64	19.37	18.96	19.58
	4	9.5	9.2	19.57	19.58	19.81	19.02	20.01	18.84	20.28	19.58
	7	7.5	6.7	19.86	19.57	20.61	—	23.18	19.80	21.18	20.73
山洼	6	16.1	15.6	19.75	20.04	23.33	20.34	20.55	19.38	21.97	19.90
	5	15.7	15.0	19.88	17.69	20.80	20.27	21.27	19.83	18.50	19.90
	3	14.5	12.4	19.11	19.07	20.73	20.64	21.48	18.31	19.05	19.36
平均				19.52	19.40	20.75	19.80	20.75	19.35	20.08	19.95

一般而言,杉木各器官的热值范围为  $16.759 \sim 23.33 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。按样木平均,杉木热值为  $19.95 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  (带皮);按器官平均,杉木的热值为  $19.50 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。本文取  $19.95$  为计算基值。

### 2.2 杉木林的能量利用率

各区域杉木林(以乔木层代表)的太阳辐射利用率的变化很大。年龄、密度、地形或海拔高度更是直接影响着林分生物量与太阳能利用率的大小。不同地带呈现一定的规律:

(1) 对个体而言,5 年生植距  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  的同一林分内不同冠型杉木单株的光能利用率依次为树冠浓密型( $0.24\% \sim 0.31\%$ )、中间型( $0.12\% \sim 0.17\%$ )、稀疏型( $0.10\% \sim 0.11\%$ )<sup>[8]</sup>。杉木幼林处于树冠发育阶段,平均光能利用率仅  $0.17\%$ ,可见辐射能的损失是很大的。

(2) 对不同密度而言<sup>[14, 19, 20]</sup>,全国杉木密度试验的计算结果表明,3 种密度(E:  $9 933 \text{ 株} \cdot$

生物量越大,太阳能利用率越高,达到这一海拔最大值。超过这个海拔后,杉木林生产力和对太阳能的利用率呈下降趋势。很明显,杉木存在垂直分布上的最适问题<sup>2)</sup>。

(4) 根据生物量法推算,20年生左右的杉木在相同年龄和密度条件下,无论是年平均生物量生产还是对太阳辐射的利用率,由大到小均依次为南带、中带、北带(表4)。

表4 不同带区18~23年生杉木人工林生物量与能量利用率比较

带区	年平均生物量/ $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$		平均光能利用率%	
	范围	平均	范围	平均
北带	4.3617~5.9014	5.1316	0.1803~0.2416	0.2109
中带	3.5967~8.5782	6.4333	0.1566~0.4123	0.2923
南带	4.5549~9.7668	7.8325	0.2079~0.4457	0.3574

根据对20年生杉木的研究<sup>[3]</sup>,树叶与树干之比值与光合作用系统和非光合作用系统之比值均以南带(广西玉林)杉木为最高,中带(湖南会同)次之,北带(河南信阳)最小,北带比值分别为南带的40%和37%,为中带的50%和47%,说明南带杉木叶少,而生产干物质多,即南带杉木叶的光合效率最高,北带最低(尚不超过南带和中带的1/2)。作者就年均能量利用率计算结果:广西玉林0.56%,湖南会同0.81%,河南信阳0.38%,其不同的基本原因与南带杉木光合器官的呼吸作用强有关。

(5) 根据年平均能量利用的生物量法估算结果,全国杉木人工林乔木层对太阳总辐射和光合有效辐射(PAR)利用率的变幅分别为0.09%~1.05%和0.19%~2.23%;平均为0.38%和0.81%,波动范围很大,其间包含了因林分密度、地形和年龄差异及气候和地理分布差异而引起的各种复杂变化。若与前人研究结果相比略偏低。贺庆棠<sup>[24]</sup>用生物量法估算我国森林对太阳总辐射的利用率平均为0.5%,朱志辉<sup>[25]</sup>对我国自然植被太阳总辐射利用的估算结果为全国加权平均0.22%,其中,南方省区为0.47%~0.74%,广东省最大,为0.74%。本文根据实测生物量资料计算的杉木人工林生物能量利用率与该值相近,若不考虑密度、年龄等因素的微观控制,从总体现实情况看,我国杉木中心产区(广阔的中带区域)的杉木林如江西、福建、湖南及广西西南部和浙江一带,杉木对太阳总辐射能的利用率在0.3%以上,许多地区杉木太阳能利用率变化于0.4%~0.67%之间;然而,以江西大岗山为例,杉木人工林经济产量理论上限<sup>[20,24]</sup>(约 $31.6165 t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )所折合的太阳总辐射能量利用率为1.3%,对光合有效辐射的利用率为2.76%,远大于现实杉木人工林对太阳能的利用率。

## 3 杉木人工林的能量分配与物质生产

### 3.1 杉木林冠层能量利用与分配

我国杉木人工林林冠层的能量分配与平衡的基本规律如表5所示。

表5 亚热带杉木人工林冠层生长季的能量分配与平衡

反射率%		吸收率%		透射率%		乱流占净辐射%		蒸散与净辐射比		林木蓄热占净辐射%	土壤蓄热占净辐射%		
A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
8.3	9.5	82.8	84.1	8.6	6.4	20.2	23.5	75.5	67.0	0.09	—	2.1	9.5

注: A: 22年生,密度 $2276株 \cdot hm^{-2}$ ,会同<sup>[27]</sup>; B: 13年生,  $3233株 \cdot hm^{-2}$ ,大岗山<sup>[20]</sup>。

2) 温远光,李信贤.桂西北山原杉木林的生物生产力与环境因子的相关分析.北京:全国第二届植物生态学会青年研讨会论文,1985.

研究表明<sup>[19, 20, 23, 27]</sup>, 林冠反射和吸收率的月变化规律与杉木生长发育节律密切相关, 即生长高峰期反射率 4% ~ 10%; 生长低谷反射率达 9% ~ 11%。1 a 中, 7 ~ 8 月的吸收率最低, 而吸收率高则处于低温季节, 说明能量在树木生长与热量需求上的有效分配。速生期杉木林冠吸收率和反射率的总和大于 90%, 说明林冠层将输入到系统的太阳能的绝大部分截取, 并在林冠层进行第一级分配并用于乱流热交换、蒸发与蒸腾、热能需求、光合作用等。当然, 冠层能量分配与利用的格局, 是呈季节性变化的。会同地区 22 年生林分也具有相同规律, 即 22 年生杉木林下光强要远大于 10 年生的, 这是因为后者处于速生阶段, 郁闭度大。22 年生干材阶段自然整枝, 林分郁闭度下降, 反射率平均 9%, 透射率年均 11.0%, 80% 用于乱流、蒸散、光合等。

在能量支出项中, 水分蒸散即潜热耗能量大, 占 60% ~ 80% 左右, 它与林分温湿特征, 尤其是水汽含量和生长状况密切相关。乱流交换热占林冠净辐射吸收的 20% ~ 25% 左右, 主要用于维持环境温度; 林木本身贮热较少, 仅占 0.03% ~ 0.09% 左右, 冬季树木休眠季节, 林木贮热为负值。林地蓄热约占总净辐射收入的 2% ~ 10% 左右, 生长末期和冬季为负值。地表面的能量交换推动着地表和土壤各层次以及林分空间内物质的运输与交换, 维持着杉木人工林生态系统的土壤生物生命功能和近地层微环境特征。

### 3.2 杉木林能量利用与物质生产效率

杉木人工林的能量利用效率, 必须考虑叶片光合及物质生产效率(表 6、7)。

表 6 不同年龄和立地杉木光合作用特性比较

类 目	林龄/a				立地指数		
	5	10	15	20	14	16	18
光补偿点/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	175.36	193.82	235.35	253.91	186.89	214.58	263.04
光饱和点/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	2 542.71	3 073.41	2 941.29	2 828.82	2 685.77	2 847.28	2 953.42
CO <sub>2</sub> 补偿点/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	110.50	103.50	116.12	121.75	119.25	114.73	104.61

表 7 杉木林生产效率指标与能量利用

带区	地点 (海拔/m)	年龄/a (立地指数)	密度/ 株·hm <sup>-2</sup>	叶面积 指数	叶净光合/ t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup>	材积生产力/ m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup>	生物量生产力/ t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup>	PAR 利用率%
南	广西玉林 (1 470)	20	2 750	—	—	12.32	6.40	0.560 8
		17.5	2 375	9.03	1.041 0	16.57	9.40	0.912 7
带	广西田林 (450)	17.5	2 488	8.86	0.891 6	12.46	7.90	0.767 5
		17.5	3 470	6.84	0.649 1	6.45	4.44	0.431 2
中	湖南会同 江西大岗山	20	2 750	—	—	18.28	7.54	0.813 5
		(220) 12(16)	3 300	9.96	0.872 4	16.93	8.69	0.809 0
带	福建顺昌	(220) 12(18)	2 955	10.58	0.945 0	18.81	9.99	0.926 8
		(16)	2 290	4.33	1.545	11.071	6.69	0.635 0
北	江苏镇江	(18)	2 049	4.87	1.748	17.594	8.51	0.808 0
		11	3 855	6.57	0.417 0	—	7.38	0.677 7
带	河南信阳	17	3 765	6.67	0.150 0	—	5.90	0.514 2
		23	2 750	—	—	9.07	4.36	0.383 7

不同林龄杉木的光补偿点和光饱和点、CO<sub>2</sub> 补偿点均存在差异。光补偿点随林龄、密度增加而增加, 光饱和点由大到小依次为 10、15、20、5 年生, CO<sub>2</sub> 补偿点依次为 20、15、10、5 年生,

充分显示了杉木幼年具一定耐荫性和速生性,如10年生杉木有较高的光合能量固定能力;立地好的林分中杉木的光补偿点和CO<sub>2</sub>补偿点较低,光饱和点较高,光合能量利用能力也较高。

10~25年生林分在不同地区和不同密度下,林分叶面积指数变化于4~11之间。杉木林分的生物量生产力、材积生产力、叶净光合生产力和林分对光合有效辐射的利用率由大到小均依次为中带、南带、北带,并与林分叶面积指数正相关。因此,叶面积指数是经营决策的重要依据之一。

## 4 结论与讨论

(1) 杉木(19年生)不同器官的热值差异明显,平均为19.95 kJ·g<sup>-1</sup>。

(2) 相同密度林分在不同年龄阶段的光能利用率不同。速生期后的林分生长下降,林分光能利用率逐步减少,体现了生物系统调节与密度管理的作用。而能量生态的研究表明,海拔300~1500 m是我国杉木的垂直最适分布范围。

(3) 杉木林的光合能量利用随不同林龄、密度和立地质量的不同而呈现光补偿点和光饱和点、CO<sub>2</sub>补偿点等的不同。总体上,杉木林分的生物量生产率、材积生产率、叶净光合效率和对光能的利用率由大到小均依次为中带、南带、北带,并与林分叶面积指数正相关。

(4) 能量分配格局受辐射能收入、水汽源和林木生长及其生理特性,林冠结构和立地条件的影响而不同。林冠层截取的能量主要消耗在维持生长的水热平衡上,进行有效物质生产的光能利用率很低,小于、等于1%。对我国杉木林生态系统能量分配格局的精确描述,有待于对生态系统各组分能值和能量平衡各收支项的准确测定。从能量利用角度看,现实杉木人工林的培育仍具有很大潜力。

## 参 考 文 献

- 1 吴中伦. 杉木. 北京:中国林业出版社,1984.
- 2 南方十四省(区)杉木栽培协作组. 杉木地理分布及主要商品材基地规划建设. 林业科学,1981,17(2):134~144.
- 3 冯宗炜,陈楚莹,张家武,等. 不同自然地带杉木林的生物生产力. 植物生态学与地植物学丛刊,1984,8(2):93~100.
- 4 俞新妥编著. 杉木. 福州:福建科学技术出版社,1982.
- 5 中国树木志编委会. 中国主要树种造林技术. 北京:农业出版社,1978. 3~5.
- 6 盛炜彤. 杉木的季节生长及其与水热条件的关系. 大岗山林业科技,1987(1):12~20.
- 7 俞新妥,叶功富. 杉木栽培制度的理论探讨. 林业科学,1994,30(1):19~25.
- 8 龚垒. 杉木幼树冠层结构与生物量关系的初步研究. 生态学报,1984,4(3):248~257.
- 9 叶镜中,姜志林. 苏南丘陵杉木人工林的生物量结构. 生态学报,1983,3(1):7~13.
- 10 叶镜中. 福建洋口杉木生物量年变化规律. 南京林学院学报,1984,6(4):32~40.
- 11 冯宗炜,陈楚莹. 杉木幼林群落生产量的研究. 生态学报,1983,3(2):119~130.
- 12 聂道平. 不同立地条件的杉木人工林生产力和养分循环. 林业科学研究,1993,6(6):643~649.
- 13 惠刚盈,盛炜彤. 江西大岗山丘陵地区杉木人工林生产力的研究. 林业科学,1989,25(6):565~569.
- 14 惠刚盈,董书振. 杉木造林密度循环试验研究——密度对幼林生物量的影响. 林业科学研究,1988,1(2):20~28.
- 15 潘维俦. 杉木人工林生态系统中的生物量及其生产力的研究. 中南林学院科技,1978(2):1~2.
- 16 管东生. 流溪水库林区四个林分类型的生物生产力. 生态科学,1986(2):23~28.
- 17 林明生. 浙江开化杉木人工林生物量研究. 浙江林学院学报,1991,8(3):288~294.
- 18 田大伦,潘维俦,雷志星,等. 杉木人工林生态系统生物量的结构特征. 见:林业部科技司主编. 中国森林生态系统研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1993. 524~532.

- 19 王丽丽. 不同密度杉木林内辐射与叶面积垂直分布对生长的影响. 林业科学研究, 1990, 8(6): 598 ~ 602.
- 20 肖文发. 杉木人工林冠层光合作用生理生态及其模拟研究: [学位论文]. 北京, 中国林业科学研究院, 1994.
- 21 范少辉. 杉木栽培营养研究: [学位论文]. 北京: 北京林业大学, 1994.
- 22 姜志林. 叶镜中. 杉木树冠形态结构的初步研究. 南京林产工业学院学报, 1980, 2(4): 46 ~ 52.
- 23 曾士余. 杉木人工林辐射状况的初步分析. 林业科学, 1985, 21(4): 30 ~ 37.
- 24 贺庆棠, Baumgartner A. 中国植物的可能生产力: 农业和林业的气候产量. 北京林业大学学报, 1986, 10(2): 1 ~ 9.
- 25 朱志辉, 张福春. 我国陆地生态系统的植物太阳能利用率. 生态学报, 1985, 5(4): 343 ~ 356.
- 26 Axelsson B G. 速生人工林的最大生长潜力. 姚瓌译. 陆地生态译报, 1985(3): 15 ~ 18.
- 27 刘煊章. 杉木人工林冠层热量平衡的测定. 森林生态系统研究. 北京: 中国林业出版社, 1993. 75.

## Study on Biomass and Energy Use Efficiency of the Stands of *Cunninghamia lanceolata* in China

Xiao Wenfa   Nie Daqing   Zhang Jiacheng

(The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, 100091, Beijing, China)

**Abstract** A comprehensive study on the energy use efficiency, pattern of energy balance and the productivity of *Cunninghamia lanceolata* was conducted. Different photosynthetic characteristics in the stands with different ages, densities and site qualities were shown, and the pattern of energy distribution, use efficiency and productivity are different in different regions, evaluation and stages of the tree growth. The present energy use efficiency for the total solar radiation income and photosynthetic active radiation is 0.38% and 0.81% respectively, and generally speaking, the value in the middle region is higher than that in the south, and that in the south is higher than that in the north region of the distribution areas of *C. lanceolata*. The net photosynthetic production of the leaf, the biomass and the growing stock is of the same feature, which is in direct proportion with the leaf area index. A great potential is waiting for more rational cultivation.

**Key words** *Cunninghamia lanceolata*; thermal value; biomass; photosynthesis; energy use